

**Eine Computer-gerechte Methode der
Streulichtmessung auf dem Augenhintergrund
mit Hilfe des Pulfricheffektes**

von

MICHAEL SCHRECK

aus Biberach



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548610_0084

Aus dem I. Physiologischen Institut der
Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. W.D. Keidel

EINE COMPUTER-GERECHTE METHODE DER STREULICHTMESSUNG AUF
DEM AUGENHINTERGRUND MIT HILFE DES PULFRICHEFFEKTES.

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

Vorgelegt von
Michael Schreck
aus Biberach

Gedruckt mit der Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Professor Dr. G. Koch

Referent: Professor Dr. W.D. Keidel

Tag der mündlichen Prüfung: 7. 3. 1972

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit

Die Arbeit wurde mit materieller Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Bundesinnenministeriums durchgeführt. Für die großzügige Unterstützung darf auch an dieser Stelle gedankt werden.



Für wertvolle Anregungen und wohlwollende Förderung bin ich Herrn Prof. Dr. W. D. Keidel und Herrn Privatdozenten Dr. K. H. Plattig sehr verbunden, ebenso Herrn Dr. R. Rix für seine guten Ratschläge.

EINE COMPUTER-GERECHTE METHODE DER STREULICHT-
MESSUNG AUF DEM AUGENHINTERGRUND MIT HILFE DES
PULFRICHEFFEKTES.

GLIEDERUNG

A. EINLEITUNG: Aufgabenstellung

B. KONSTRUKTION DER EIGENEN APPARATUR

1. Sinnesphysiologisches Prinzip

2. Das Pendel

3. Die Lichtquelle

4. Die Lichttransmission

5. Der Einblickkasten und die Ulbrichtkugel

6. Die Blendeinrichtung

a. Berechnung der Linse und der Abstände

b. Berechnung der Abbildungsgröße

7. Der Faraday - Käfig

C. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

D. ZUSAMMENFASSUNG

E. LITERATUR

A. EINLEITUNG : Aufgabenstellung

Das Phänomen der Blendung besitzt große Bedeutung im täglichen Leben, besonders im Straßenverkehr. Seine Unterschätzung kann sich folgenscher und katastrophal auswirken. Andererseits behaupten manche, sie seien in dieser Hinsicht besonders empfindlich und so mehr oder weniger behindert.

Ursprünglich war unter Blendung im Altertum und und Mittelalter die völlige Zerstörung des Augenlichts durch Verstümmelung der Augen verstanden worden, meist mit einem glühenden Holzpflöck, als Strafe für ein Verbrechen. Heute meint man dagegen mit Blendung eine reversible Störung der Sehfunktion durch plötzlichen Einfall hoher Lichtintensitäten. Ihnen folgt ebenso rasch eine Periode relativer Dunkelheit, in welcher der so "Geblendete" in der Perception geringer Helligkeiten und ihrer Unterschiede stark behindert ist. Als wesentliche Ursache für Blendungserscheinungen kommt die Streuung und Reflexion der Strahlen im Bulbus oculi in Betracht. Bei plötzlichem Lichteinfall verengern sich die Pupillen in kürzester Zeit. Schon hierbei erfolgt eine Streuung des Lichts durch Beugung. Beim Durchgang durch Linse und Glaskörper bewirken feinste Trübungen, verursacht durch den Gehalt an Salzen und Proteinen, einen Tyndalleffekt. Es entstehen auf der Netzhaut Bilder mit einer im Vergleich zur Umgebung relativ hohen Intensität. Aus der Reflexion ergibt sich, ähnlich wie in einer Ulbrichtkugel, eine diffuse Aufhellung des gesamten Glaskörpers und des ganzen Augenhintergrundes. So werden infolge von Streuung und Reflexion Objekte mit geringerer Leuchtdichte überstrahlt. Im Hinblick auf solche Phänomene spricht O.F. RANKE vom "Ertrinken" des Netzhautbildes im Blendlicht. Von ihm stammt auch der Hinweis, daß es noch nicht gelungen ist, die Streulichtintensität am Augenhintergrund quantitativ zu erfassen.

Versuche hierzu können auf eine Beobachtung von R. J. LYTHGOE zurückgreifen, wonach auch durch die Steigerung der Lichtintensität eines Netzhautbildes der Pulfrich-Effekt ausgelöst wird. Dies erreichte er durch Spiegelung von Himmelslicht ins Auge oder Vorhalten einer Taschenlampe. Der Pulfricheffekt zeigt sich dadurch, daß eine objektiv frontoparallel verlaufende Schwingung elliptisch wahrgenommen wird, wenn auf beide Augen unterschiedliche Lichtintensitäten treffen. Das wurde bisher durch Vorhalten eines Farb- oder Grauglases vor ein Auge erzielt. Die gleiche Versuchsanordnung nutzte L. HECKEL aufgrund einer Anregung von O.F. RANKE zur direkten Messung der Streulichtdichte in der Macula lutea. Hierzu wird von ihr ein Blendlicht im Winkel von $16,5^{\circ}$ temporal zur Seachse (Gesichtslinie) in den blinden Fleck des einen Auges gesetzt. Das Streulicht, welches dabei entsteht, löst den Pulfrich-Effekt aus. Bringt man eine veränderliche und meßbare Helligkeit ins andere Auge, so wird er wieder aufgehoben. Hierbei ergab sich, daß dieses Phänomen nur von gleicher Lichtintensität in beiden Augen und nicht vom Kontrast abhängt. Das Blendverhältnis (Menge des Streulichts in der Macula lutea verglichen mit der Blendintensität) unterliegt bei den verschiedenen Versuchspersonen starken Schwankungen. Zum gleichen Ergebnis gelangte auch E. WANDERER, welche die Methode von L. HECKEL zur Routineuntersuchung ausbaute. An 254 Personen zeigte es sich, daß sie sich in 86 % der Fälle anwenden ließ, jedoch in 14 % versagte.

Um die Trefferquote zu erhöhen, wird der Versuch unternommen, eine Apparatur zu erstellen, mit welcher das Streulicht am Augenhintergrund auch unter Verwendung von Computern objektiv erfaßt werden kann.

B. KONSTRUKTION DER EIGENEN APPARATUR

Zur Wahrnehmung des Pulfrich-Effektes ist zunächst die Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen Voraussetzung. Infolgedessen hat man sich hierüber bei Versuchspersonen genau zu orientieren. Dazu stehen in orthoptischen Abteilungen von Augenkliniken sehr genaue Möglichkeiten (Apparaturen) zur Verfügung. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß der Pulfrich-Effekt eine subjektive Empfindung darstellt, die bei den verschiedenen Menschen in ihrer Intensität schwankt. So erweist sich manchmal die Entscheidung als schwierig, ob noch ein positiver Pulfrich-Effekt vorliegt oder ob er bereits aufgehoben ist. Aus solchen Gründen unternimmt diese Arbeit den Versuch, eine objektive Meßmethode zu finden, die sich auf die verschiedenen Versuchspersonen mit vergleichbarem Erfolg anwenden läßt. Näherhin soll diese Aufgabe mittels comparativer Untersuchungen des Elektroretinogramms (ERG) und des Elektroencephalogramms (EEG) angestrebt werden.

1. Sinnesphysiologisches Prinzip

Das Prinzip dieser Untersuchung wurde von O.F. RANKE bereits für die Arbeiten seiner Schülerinnen L. HECKEL und E. WANDERER angegeben:

Wenn das Blendlicht so aufgestellt wird, daß sein Bild auf die Sehnervenscheibe (Papilla fasciculi optici) fällt, so bleibt eine direkte Erregung von Photorezeptoren aus. Es entsteht aber Streulicht im geblendeten Auge.

Dies erfolgt durch Beugung an der Pupille, durch den Tyndall-Effekt in Hornhaut, Linse und Glaskörper sowie durch Reflexion. Dadurch wirkt auf die Netzhaut der beiden Augen eine unterschiedliche Lichtintensität, welche den Pulfrich-Effekt auslösen kann. Für die Versuchsperson wird dies dadurch erkennbar, daß ein Pendel, das in einer frontoparallelen Ebene schwingt, nun scheinbar eine Ellipse beschreibt. Spiegelt man dabei in das andere Auge eine variable, meßbare Helligkeit aus einer Glaskugel, deren Innenwand mit Magnesiumoxyd bedampft ist und die daher einen einfallenden Lichtstrahl diffus durch mehrfache Reflexion streut (Ulbrichtkugel), so kann dieser Eindruck wieder aufgehoben werden. Dies ist der Fall, wenn in beiden Augen die gleiche Lichtintensität auf die Netzhaut einwirkt, das heißt, wenn das Streulicht im einen durch die bekannte Helligkeit im anderen kompensiert wird. Die hiermit vorzustellende Apparatur dient dazu, den Ablauf solcher Phänomene durch vergleichbare Studien von ERG und EEG zu untersuchen und zu objektivieren. Dazu wird es notwendig, die Versuchsperson von allen elektrischen Geräten exakt getrennt in einem Faraday-Käfig abzuschirmen.

2. Das Pendel

Zur Beobachtung des Pulfrich-Effekts erscheint das Pendel als genauso einfache wie sichere Lösung. Läßt sich doch dabei leicht eine ungedämpfte, lineare und harmonische Schwingung erzielen.

Um die Energie zu ersetzen, welche durch die Reibung verloren geht und eine gleichmäßige Amplitude zu erreichen, wird das Pendel durch einen Drehmagneten angetrieben. Sein erkennbarer vorderer Teil schwingt mit einer Sichtmarke vor einem schwarzen Schirm und besteht aus einem starren, dunklen Stab und einer weißen Kugel, die einen Durchmesser von 4 cm hat. Die eigentliche Masse des Doppelpendels befindet sich hinter dem Schirm, wo sie am rückwärtigen Ende der Achse befestigt ist, an welcher der Magnet wirkt. Nach der Formel $T = 2\pi \sqrt{\ell/g}$ hängt die Schwingungsdauer allein von der Pendellänge ab. Daher ist sie zu Versuchszwecken leicht und einwandfrei meßbar zu variieren, indem die Pendelmasse an dem Stab, an welchem sie aufgehängt ist, verschoben wird. So können Frequenzen von 0,5 bis 1 Hz erreicht werden.

Der Drehmagnet hat die Aufgabe, die durch Reibung verlorengelassene Energie im letzten Abschnitt der Schwingung kurz vor dem Umkehrpunkt zuzuführen. Hierzu unterbricht das Pendel auf seinem Wege den Strahlengang eines Photoelementes und stößt so photoelektrisch eine monostabile Kippstufe (MK) an, deren Zeitdauer über ein RC-Glied bestimmt wird (Abb. 1). Durch die Veränderung der Widerstands (R)- Kapazitäts (C)- Kombination läßt sich die Einschaltzeit des Magneten in ihrer Phasenlage zur Pendelschwingung stufenlos regeln (Abb. 2) und in die Nähe des Umkehrpunktes bringen. Eine derartige Anordnung der Apparatur schafft ohne weiteres die Möglichkeit, die Amplitude des Pendels zu Versuchszwecken in jedem gewünschten Maße von 0 bis 25 cm zu variieren. Hierbei brauchen nur Photozelle und Drehmagnet in ihrer Stellung geändert werden.

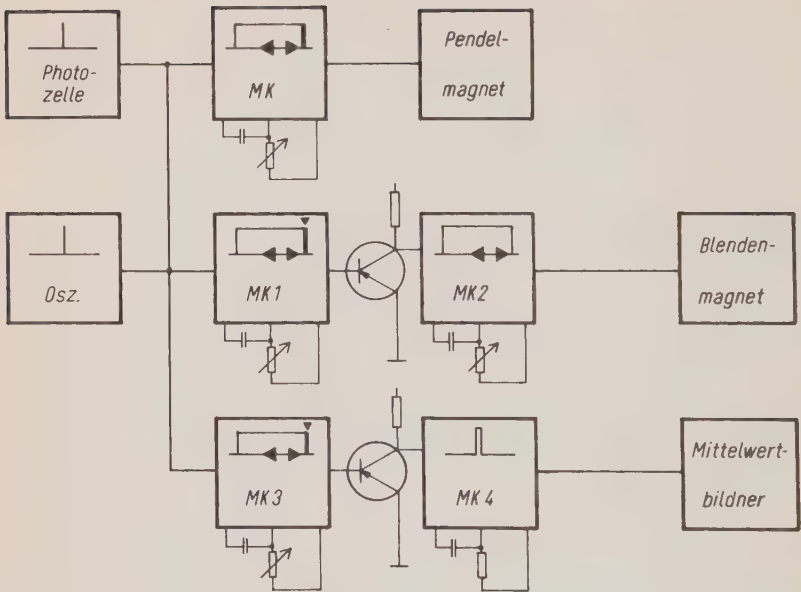


Abb. 1: Blockschaltbild.

MK = monostabile Kippstufe.

Osz = Oszillograph.

MK: Einschaltdauer des Pendelmagneten.

MK1 und MK 2: Verzögerung und Dauer der Blendenöffnung.

MK3 und MK 4: Verzögerung und Start des Mittelwertbildners.

Die Fixiermarke liegt 1,7 m von den Augen entfernt in der Schwingenebene des Pendels. Dieses wird von einer Lampe mit einer veränderlichen Leuchtdichte erhellt.

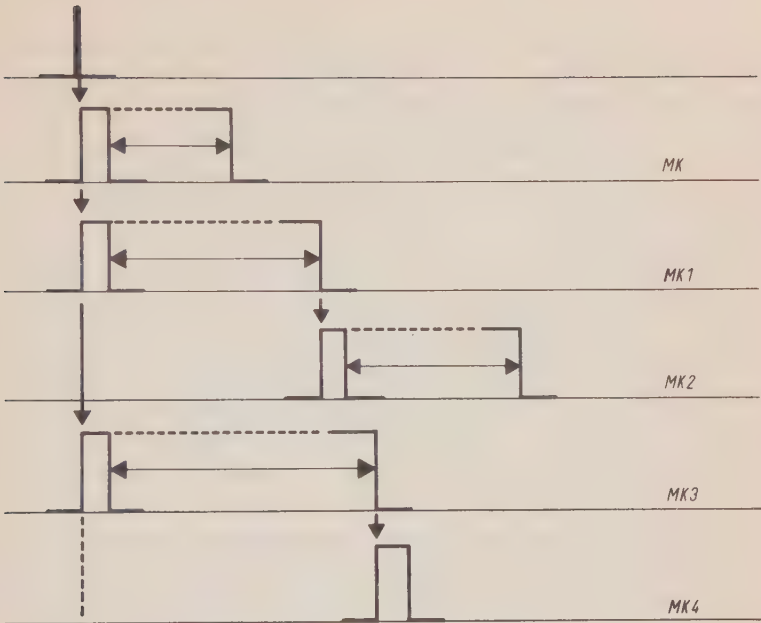


Abb. 2: Zeitablauf.

MK = monostabile Kippstufe.

Erste Zeile: Triggerimpuls von der Photozelle.

MK: Einschaltdauer des Pendelmagneten.

MK1: Verzögerung der Blendenöffnung.

MK2: Dauer der Blendenöffnung.

MK3: Verzögerung des Startimpulses für den Mittelwertbildner.

MK4: Startimpuls für den Mittelwertbildner.

3. Die Lichtquelle

Die Reizung erfolgt zweckmäßigerweise durch intermittierendes Licht, wenn ERG und EEG einer Computermittlung unterzogen werden sollen. Die hierzu verfügbaren Stroboskope erzeugen meistens Geräusche und können so akustische Hirnpotentiale auslösen, welche mit den optischen interferieren. Auch erweist sich die dabei erreichbare Lichtausbeute oft als nicht ausreichend. Aus diesen Gründen wurde als Lichtquelle ein Diaprojektor gewählt, wobei eine schwingende Blende die Möglichkeit schafft, den Strahlengang im gewünschten Moment zu unterbrechen. Sie wird von einem zweiten Drehmagneten geöffnet und schließt sich selbständig. Der von der Photozelle am Pendel ausgelöste Trigger-Impuls schaltet eine monostabile Kippstufe (MK 1) ein, deren Wirkungsdauer sich über ein RC-Glied regulieren läßt (Abb. 1). Eine solche Vorrichtung schafft die erstrebte Möglichkeit, den Einschaltzeitpunkt gegen den Trigger-Impuls zeitlich zu versetzen (Abb. 2). Eine weitere monostabile Kippstufe (MK 2), welche ebenfalls über eine veränderliche RC-Kombination verfügt, läßt die Öffnungszeit der Blende festlegen und steuern (Abb. 1 u. 2). So wird von einer Schwingung nur ein Lichtblitz ausgelöst. Die untersuchungstechnischen Möglichkeiten erweitern sich dadurch noch ganz erheblich, daß dieser in seiner Dauer stufenlos verändert werden und auf jede beliebige Pendelstellung treffen kann. Bei kurzen Lichtblitzen entstehen hierbei Momentaufnahmen der jeweiligen Phase. Es ist auch möglich, die Blende während einer ganzen Schwingung oder länger zu öffnen, indem man die Anzugsdauer ihres Magneten entsprechend verlängert.

So wird der nächste Triggerimpuls unwirksam, den das Pendel kurz vor dem Umkehrpunkt auslöst, da er auf die noch geöffnete Blende trifft. Diese schließt sich kurz danach und bleibt dann während der folgenden Schwingung zu. Unter entsprechend langer Einschaltzeit beleuchtet der Blitz also nur jede zweite Schwingung. Bei gleichzeitiger Ableitung vom ERG oder EEG können durch Anschluß eines elektronischen Rechen- oder Speichergerätes die Versuchsergebnisse genau erfaßt, konserviert und gemittelt werden. Schließlich ermöglichen es die monostabilen Kippstufen 3 und 4 (MK 3 u. 4), den Start gegen den Triggerimpuls zu verschieben und den Rechner in jeder Phase des ERG und EEG anlaufen zu lassen (Abb. 1 u. 2).

4. Die Lichttransmission

Die Fixiermarke wird absichtlich ziemlich weit von den Augen entfernt angebracht. Es würde viel an Intensität verloren gehen, wenn das Blendlicht in ihrer Ebene stünde. So wäre man gezwungen, mit hohem Überschuß zu arbeiten, um noch genügend Licht ins Auge zu bekommen.

Viele und wesentliche Vorteile für die Lösung der gestellten Aufgaben bietet eine Faseroptik. Erstens wird es durch dieselbe möglich, das Licht gezielt und in jeder Richtung mit relativ hoher Durchlässigkeit zu leiten. Zweitens entfallen bei ihrer Anwendung Spiegel und komplizierte Linsensysteme, die viel an Intensität verzehren. Drittens kann man das Licht ohne großen Aufwand teilen und mit einer Lichtquelle mehrere Objekte versorgen. Viertens stellt

die Austrittsfläche der Faseroptik eine ideale Mattscheibe dar. Bewirkt sie doch innerhalb eines bestimmten Areals bzw. Winkels eine diffuse, sehr gute Streuung ohne die dabei üblichen Verluste.

Im einzelnen wird eine Y-förmig geteilte Faseroptik [die freundlicherweise von der Fa. Storz (Tuttlingen, Wttbg.) zur Verfügung gestellt wurde, wofür auch an dieser Stelle verbindlichst gedankt werden darf] mit einer Länge von 180 cm verwendet. Das gemeinsame Ende nimmt das gebündelte Licht vom Projektor kurz nach der Diaebene auf. Ein Teil von ihm wird zur Ulbrichtkugel (UK), der andere bis kurz vor das Auge zur Blendeinrichtung (BL) geleitet (Abb. 3).

5. Der Einblickkasten und die Ulbrichtkugel

Die Versuchsperson legt das Kinn auf eine Stütze und die Stirn an den Einblickkasten (Abb. 3). Dieser besteht aus zwei Kammern, von denen jede nach vorne und hinten offen ist. Die obere, untere und mediane Wand von ihnen dient als Abschirmung, die laterale erhält eine Öffnung, um dort die Lichtaustrittsstelle (LA) der Ulbrichtkugel (UK) anzubringen.

Eine Stufenphotometertrommel (ST) schafft die Möglichkeit, das Licht vor Eintritt in die Ulbrichtkugel mittels einer Blende abzuschwächen. Im Innern wird es an der mit Magnesiumoxyd bedampften Wand vielfach reflektiert und dann als diffuse Aufhellung ins Auge eingespiegelt. Dies geschieht über eine Glasscheibe (GL), welche im Winkel von 45° zur Sehachse (Gesichtslinie) und zur Lichtaustrittsfläche der Ulbrichtkugel steht und durch welche die Versuchsperson auf das Pendel blickt.

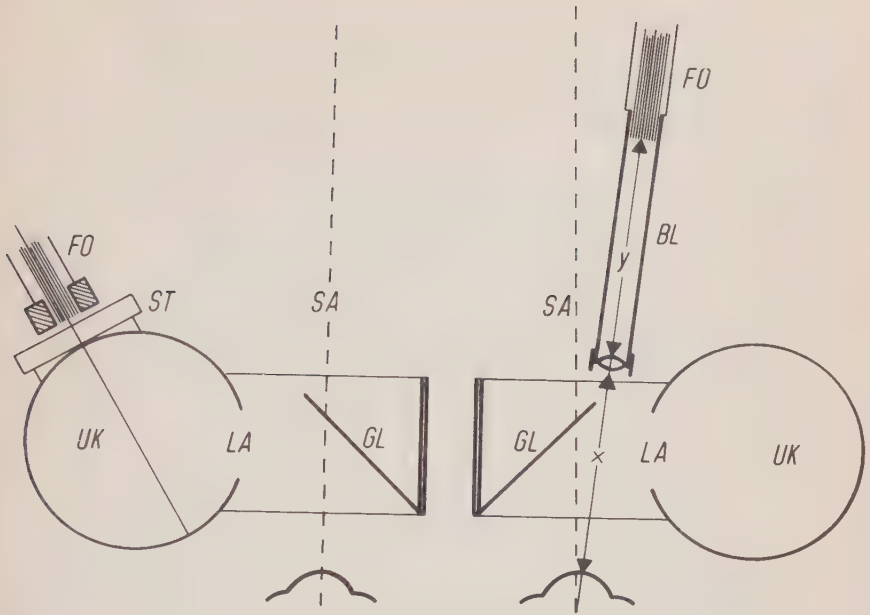


Abb. 3: Einblickkasten mit Ulbrichtkugeln und Blendeneinrichtung.

FO = Faseroptik.

BL = Blendeinrichtung.

UK = Ulbrichtkugel.

LA = Lichtaustrittsstelle.

GL = Glasplatte.

SA = Sehachse.

ST = Stufenphotometertrommel.

x = Abstand Auge - Blendeinrichtung.

y = Abstand Faseroptik - Linse.

Die Lichtstärke am Auge kann durch die Stufenphotometertrommel im Bereich von 0 bis 3,1 Lux verändert werden. Die Lichtstärkeneinstellung wurde mit einer Belichtungsmeßeinrichtung der Firma Carl Zeiss (Oberkochen) geeicht. Diese weist einen ausreichend breiten Bereich auf und wurde ihrerseits wieder mit einem Luxmeter der Firma Gossen (Erlangen) geeicht. Die aus den Wertepaaren durch Computerberechnung ermittelte Ausgleichsgerade zeigt einen Korrelationskoeffizienten von 0,9994. Von ihr wurden nach oben und unten hin die mit der Belichtungsmeßeinrichtung am Auge gemessenen Werte extrapoliert.

6. Die Blendeinrichtung

Um die angestrebte Blendung zu erreichen, wird die bereits erwähnte Faseroptik etwa in einem Winkel von 15° temporal möglichst dicht vor das zu untersuchende Auge gebracht, um dort eine hohe Lichtintensität zu erhalten. Wenn ein scharfes Bild ihres runden leuchtenden Endes auf der Sehnervenscheibe (Papilla fasciculi optici) entstehen soll, bedarf es noch einer Sammellinse. Sie hat jene Brechkraft zu erbringen, welche für die Einstellung des dioptrischen Apparates vom Auge auf die Fixiermarke im Abstand von 1,7 m notwendig ist. Damit Vorsatzlinse und Halterung der Glasfaseroptik den Versuchsablauf denkbar wenig stören, werden sie möglichst klein im Durchmesser gearbeitet und halten einen gewissen Abstand zum Auge. So beeinträchtigen sie in keiner Weise den Blick auf das Pendel und passen annähernd in den blinden Fleck.

a. Berechnung der Linse und der Abstände

Bei der geschilderten Versuchsanordnung hat das geprüfte Auge auf 1,7 m zu akkommodieren. Hierzu benötigt es $+ \frac{1}{1,7}$ dptr an Brechkraft mehr als bei der Einstellung auf Unendlich. Die Sammellinse (D) soll im Abstand x vor das Auge gesetzt werden (Abb. 4). Damit entsteht ein optisches System, bestehend aus der Vorsatzlinse (D), dem Abstand x und der zusätzlichen Brechkraft des Auges von $+ \frac{1}{1,7}$ dptr. Die Lichtstrahlen aus der Faseroptik sollen nun so gebrochen werden, als kämen sie beim Verlassen dieses optischen Systems aus dem Unendlichen. Durch die restliche Brechkraft des Auges, die ja dem Ruhezustand der zur Verfügung stehenden Akkommodation, d.h. einer Einstellung auf Unendlich entspricht, entsteht ein scharfes Bild auf der Netzhaut. Allerdings ist hierzu notwendig, daß das Ende der Faseroptik (E) in den vorderen Brennpunkt F des optischen Systems gesetzt wird (Abb. 4). Bei einer derartigen Anordnung divergieren die Strahlen zwischen Vorsatzlinse und Auge derart, als liege das Blendlicht auf der Akkommodations-ebene des Auges. Diese Überlegungen konnten bei Modellversuchen am Kühn'schen Auge bestätigt werden. Auch die nun folgenden Berechnungen sind hierbei überprüft und als zutreffend befunden (Berechnung Abb. 4).

Wenn sie ihre Aufgabe erfüllen soll, hat man die vorgesehene bikonvexe Linse D mit 8 dptr Brechkraft und 3,4 mm Dicke in einen Abstand (y) von 11,6 cm zum Ende der Faseroptik (E) zu bringen. Ihr Durchmesser beträgt 8 mm.

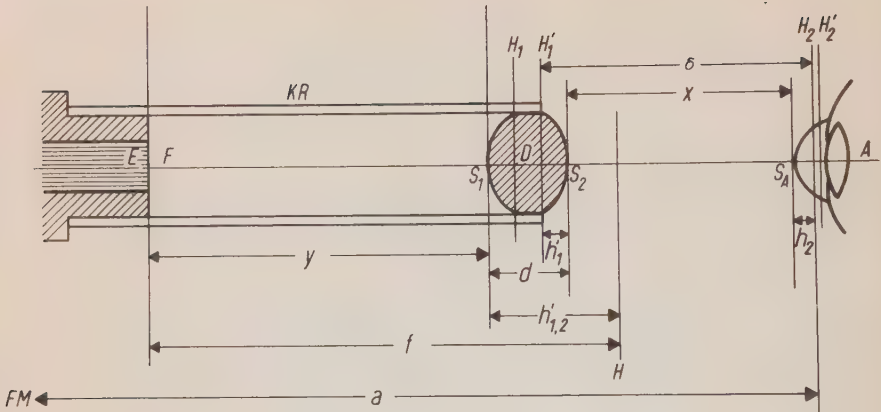


Abb. 4: Blendeinrichtung und Berechnung der erforderlichen Abstände.

E = Ende der Faseroptik.

F = vorderer Brennpunkt des optischen Systems.

KR = Kupferrohr.

D = Linse.

H_1, H'_1 = Hauptebenen der Linse.

H = vordere Hauptebene des opt. Systems.

H_2, H'_2 = Hauptebenen des Auges.

A = Auge.

S_1 = vorderer Linsenscheitel.

S_2 = hinterer Linsenscheitel.

S_A = Hornhautscheitel.

y = Abstand E- S_1 .

f = Brennweite des opt. Systems.

d = Linsendicke.

h'_1 = Abstand $H'_1 - S_2$.

$h'_{1,2}$ = Abstand $S_1 - H$.

δ = Abstand der Hauptebenen $H'_1 - H_2$.

x = Abstand $S_2 - S_A$.

h_2 = Abstand $S_A - H_2$.

a = Abstand H_2 - Fixiermarke.

Berechnung nach den Formeln:

$$D_g = D_1 + D_2 - \sigma \cdot D_1 D_2 \quad \text{und} \quad h'_{1,2} = \frac{\sigma \cdot D_2}{D_g} \quad \text{wobei}$$

$$D_1 = D, \quad D_2 = \frac{1}{a}, \quad D_g = \frac{1}{f}$$

$$\text{Danach ergibt sich:} \quad y = \frac{a - \sigma}{1 + D (a - \sigma)}.$$

Die Linse wird mittels der Halterung auf das eine Ende eines Kupferrohres (KR) gesteckt. Dieses bleibt innen annähernd reflektionsfrei. In sein anderes Ende wird die Lichtaustrittsstelle (E) der Faseroptik geschoben. So läßt sich störendes Streulicht vermeiden. Außerdem bleibt die errechnete Distanz gewährleistet. Der Abstand (x) der Blendeinrichtung zum Auge soll etwa 8 cm betragen. Allzu große Genauigkeit ist hierbei nicht erforderlich. Schließlich würde bei einer Abweichung von 1 cm nur eine Korrektur von 0,05 mm im Abstand Linse - Faseroptik (y) nötig. Das entspricht einem Fehler von 0,5 %. Die Lichtstärke am Auge beträgt bei der hiermit vorgeschlagenen Apparatur 280 Lux. Sie kann durch verschiedene Graugläser auf 23 Lux abgeschwächt werden.

b. Berechnung der Abbildungsgröße

Bei der geschilderten und begründeten Anordnung der Linse entsteht ein virtuelles, vergrößertes Bild (B') von der Lichtaustrittsstelle der Faseroptik in der Akkommodationsebene des untersuchten Auges (Abb.5). Dieses wird auf der Netzhaut scharf abgebildet (Berechnung Abb. 5).

Die Bildgröße (B) auf der Netzhaut beträgt etwa 0,42 mm. Bei einem normalen Papillendurchmesser von 1,5 bis 1,7 mm kann also das Blendlicht leicht im blinden Fleck Platz finden. Die oben beschriebene Versuchsanordnung ermöglicht ohne weiteres eine entsprechende Leitung der Strahlen.

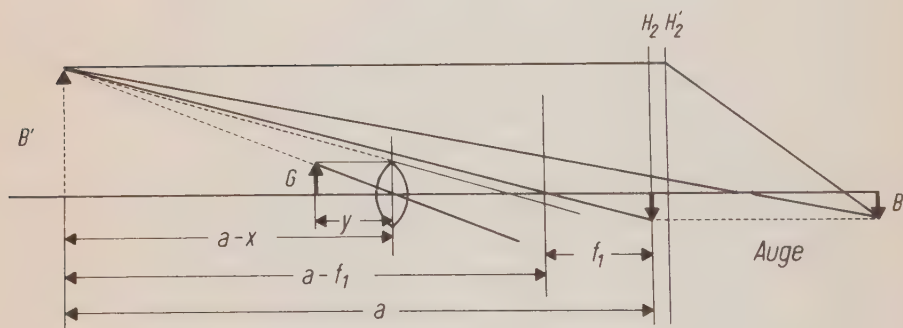


Abb. 5: Strahlengang.

G = Ende der Faseroptik.

B' = virtuelles Bild auf der Akkommodationsebene.

B = Bild auf der Netzhaut.

f_1 = vordere Brennweite des Auges.

a = Abstand Auge - Fixiermarke.

y = Abstand G - Linse.

x = Abstand Linse - Auge.

H_2, H_2' = Hauptebenen des Auges.

Berechnung nach der Formel: $B = \frac{f_1 \cdot G(a-x)}{(a-f_1) \cdot y}$

9. Der Faraday - Käfig

Die Abschirmung der Versuchsperson gegen jede Art von Streuspannung gelingt mit konventionellen Mitteln. Im Innern eines üblichen schallarmen Faraday-Käfigs befindet sich der Einblickkasten mit den Ulbrichtkugeln und der Blendeinrichtung (Abb. 5). Die Kammer braucht eine Öffnung zum Blick auf die Fixiermarke und eine weitere, um die Faseroptik zur Versuchsperson zu leiten.

C. Diskussion

Während L. HECKEL zur Auslösung des Pulfricheffektes eine Lichtmarke verwendete, die in frontoparalleler Ebene schwingt, benützte E. WANDERER eine andere Anordnung: Sie erzeugte zwei gegenläufige Bewegungen, indem sie zwei Kreisscheiben, welche in frontoparalleler Ebene übereinanderlagen, hinter einem Schirm in gleichlaufende Drehung versetzte. Die Versuchsperson sah nur die benachbarten Segmente durch entsprechende rechteckige Ausschnitte im Schirm über und unter dem Fixierpunkt. Die so zustandegewordene gegensinnige Bewegung wurde noch dadurch verstärkt, daß die sichtbaren Scheibensegmente in gleichgroße schwarze und weiße Felder aufgeteilt waren.

Ein Teil der Versuchspersonen erkennt hierbei den Pulfricheffekt nur schwach und undeutlich. Daher scheint das Pendel, mit welchem leicht eine harmonische und lineare Schwingung erzielt werden kann, eine sichere Lösung zu sein. Hierbei läßt sich auch leicht ein Triggerimpuls für die schwingende Blende zwischen Diaprojektor und Faseroptik abnehmen.

Um die Spannungsschwankungen aus dem städtischen Netz zu kompensieren, benutzte E. WANDERER nur eine Lichtquelle und führte das Licht über Spiegel und durch Linsen an die Ulbrichtkugel des einen und in den blinden Fleck des anderen Auges. Die y-förmige Faseroptik vereinfacht die Transmission und das Licht läßt sich ohne großen Aufwand teilen. Spiegel und komplizierte Linsensysteme entfallen, lediglich ein dünnes Kabel führt zur Versuchsperson.

Am isolierten Froschauge beobachtet W.D. KEIDEL das ERG bei circumscripiter Blendung und expotentiell abfallenden Lichtblitzen und objektivierte dadurch das Streulicht, welches dabei auftrat. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Voraussetzungen für eine Objektivierung des Streulichtes beim Menschen an Hand von ERG und EEG zu schaffen. In orientierenden Vorversuchen wurde die Apparatur in ihren Möglichkeiten untersucht:

Das Pendel erreicht Schwingungen von höchstens 1 Hz. Die Blendenöffnung sollte länger als 0,5 sec dauern, um einen möglichen geringen Abfall der b-Welle im ERG auszuschließen. Für die on-off-Trennung benötigt man eine Dunkelphase von einer halben Sekunde. Der Ablauf eines vollständigen normalen ERG dauert in der Regel etwa 2 sec. Seine Abkürzung auf 0,5 bis 1,0 sec ist möglich. Hieraus folgt, daß für die Ableitungen des ERG Pendelfrequenzen von weniger als 1 Hz notwendig werden. Ferner darf als günstig angesehen werden, daß dieser Bereich auch für das EEG gut brauchbar und zweckmäßig erscheint.

Somit bringt die beschriebende Apparatur günstige Voraussetzungen für die Ableitung des ERG und EEG und die Objektivierung des Streulichtes am Augenhintergrund mit sich.

Z u s a m m e n f a s s u n g

In der vorliegenden Arbeit wird eine neue Methode der objektiven Streulichtmessung auf dem Augenhintergrund mit Hilfe des Pulfricheffektes beschrieben. Dieser kann mittels eines elektronisch gesteuerten und in Amplitude und Frequenz variierbaren frontoparallel schwingenden Pendels durch Einleitung von Licht hoher Intensität auf die Sehnervenpapille des einen Auges und Variation der Lichtintensität auf dem anderen Auge ausgelöst bzw. kompensiert werden. Gegenüber früher bereits gebräuchlichen Apparaturen zur psychophysischen Nutzung des gleichen Prinzips gestattet diese Methode eine unmittelbare Auswertung von ERG- und EEG-Daten im Computer über eine entsprechende Triggerungsmöglichkeit der elektronischen Pendelsteuerung.

L i t e r a t u r

1. HECKEL, L.: Pulfricheffekt bei seitlicher Blendung. Arbeitsphysiologie 15, 394 - 426 (1954)
2. HENKER, O., H. PISTOR: Einführung in die Brillenlehre. R. Berkmann, Weimar (1927) 348 pp
3. JACOBSEN, A., W. RIMKUS: Faseroptik-Eigenschaften und Anwendungen. Feinwerktechnik 71, 111 - 116 (1967)
4. KEIDEL, W.D.: Das Elektretinogramm des isolierten Froschauges bei circumscripiter Blendung. Pflügers Arch. ges. Physiol. 264, 17 - 30 (1957)
5. KEIDEL, W.D.: Das Elektretinogramm des Frosches bei expotentiell abfallenden Lichtblitzen. Pflügers Arch. ges. Physiol. 264, 31-43 (1957)
6. LYTHGOE, R.J.: Some observations on the rotating pendulum. Nature (Lond.) 141, 474 (1938)
7. MÜLLER - LIMMROTH, W.: Elektrophysiologie des Gesichtsinnes. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1959) 331 pp
8. PULFRICH, C.: Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Naturwissenschaften 10, 553 - 564, (1922)
9. RANKE, O.F.: Objektive Lichtverhältnisse bei der Blendung. Arbeitsphysiologie 15, 388 - 393 (1954)
10. RANKE, G.: Objektive Messung der Lichtzerstreuung in den Augenmedien von Tieraugen. Arbeitsphysiologie 15, 427-447 (1954)
11. SIEBECK, R.: Optik des menschlichen Auges. Springer, Berlin - Göttingen - Heidelberg (1960) 266 pp
12. WANDERER, E.: Verteilung der Blendempfindlichkeit, gemessen mit dem Pulfricheffekt. Int.Z. angew. Physiol. 16, 228-236 (1956)

L e b e n s l a u f

Als zweites von vier Kindern des Universitäts-Professors Dr. med. Eugen Schreck, Direktor der Universitäts-Augenklinik Erlangen - Nürnberg und seiner Ehegattin Berta, geb. Hammer, wurde ich in Biberach/Riß am 17. April 1944 geboren. Nach Besuch der Volksschule von Herbst 1951 bis Herbst 1955 in Heidelberg und Erlangen wurde meine Ausbildung am Gymnasium Fridericianum Erlangen fortgesetzt. Im Jahre 1959 wechselte ich an das Deutsche Gymnasium in Erlangen und legte dort im Juni 1965 die Reifeprüfung ab. Unmittelbar danach erfolgte im Wintersemester 1965/66 der Beginn des Studiums der Medizin an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen - Nürnberg. Es wurde am 31. Januar 1972 mit der ärztlichen Prüfung (Gesamtnote "sehr gut = I") abgeschlossen. Am 25. Februar 1972 heiratete ich Fräulein Elisabeth Köllner, Tochter des Dr. med. Guntram Köllner, Facharzt für Allgemeinmedizin aus Hösbach. Nach 6 Jahren Studium in Erlangen wird nun meine Promotion an der Friedrich-Alexander-Universität zum Doktor der Medizin angestrebt.



Buchdruckerei Ludwig Müller Erlangen Fahrstraße 5